International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)
Peer-Reviewed Journal
ISSN: 2349-6495(P) | 2456-1908(O)
Vol-9, Issue-12; Dec, 2022
Journal Home Page Available: https://ijaers.com/
Article DOI: https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.912.58

In-Flight Qualification of the Suborbital Microgravity Platform in Brazil

Qualificação em Voo da Plataforma Suborbital de Microgravidade no Brasil

Jaqueline Vaz Maiolino[1], Célio Costa Vaz[2], Marcelo Lopes de Oliveira e Souza[3]

[1] Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE), Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais (CSE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil
[2]Orbital Engenharia S.A., Brasil
[3]Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil

Received: 19 Nov 2022,

Receive in revised form: 18 Dec 2022,

Accepted: 24 Dec 2022,

Available online: 31 Dec 2022

***Keywords*— microgravity platform, in-flight qualification, suborbital.**

***Palavras-Chave*— microgravidade, plataforma, qualificação em voo, suborbital.**

***Abstract*— *The Suborbital Microgravity Platform (PSM) is the first Brazilian suborbital payload developed to be launched using the Suborbital Vehicles VSB-30, with two stages, or VS-30, with one stage, both also fully Brazilian. This platform was designed to allow performing scientific and/or technological experiments, lasting 6 to 8 minutes in a microgravity environment, through suborbital ballistic flight and experiments recovering at sea. In addition to serving as a platform for holding experiments to meet the government demands of the Brazilian Space Agency (AEB) Microgravity Program, the PSM also has enormous potential to meet national and international private demands for carrying out scientific, technological, and commercial experiments in microgravity environment. Regarding its in-flight qualification, the PSM was launched by the Suborbital Booster Vehicle VSB-30, on October 23, 2022, from the Alcântara Launch Center (CLA) in Brazil. This article presents a summary of the PSM in-flight qualification, which includes: its description, the main stages of its development and a descriptive summary of the telemetry monitoring, whose data were received and decoded in real time by the PSM Launch Control Unit (BC-PSM). The successful qualification and flight performance of the PSM, in conformance with project requirements, demonstrated the compliance of mission flight events, and thus, enable Brazil technologically to carry out microgravity experiments in a suborbital space environment with a recoverable platform.*

***Resumo*— *A Plataforma Suborbital de Microgravidade (PSM) é a primeira carga útil suborbital brasileira desenvolvida para ser lançada através dos Veículos Suborbitais VSB-30, de dois estágios, ou VS-30, de um estágio, ambos também totalmente brasileiros. Esta plataforma foi projetada para proporcionar a realização de experimentos científicos e/ou tecnológicos, com duração de 6 a 8 minutos em ambiente de microgravidade, através de voo balístico suborbital e ter os seus experimentos recuperados no mar. Além de servir como plataforma de experimentos para atender às demandas governamentais do Programa de Microgravidade da Agência*

Espacial Brasileira (AEB), a PSM também possui enorme potencial de atender às demandas privadas nacionais e internacionais para realização de experimentos científicos, tecnológicos, e comerciais em ambiente de microgravidade. Na sua qualificação em voo, a PSM foi lançada pelo Veículo Suborbital *Booster VSB-30, em 23 de outubro de 2022, a partir do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) no Brasil. Este artigo apresenta uma síntese da qualificação em voo da PSM, que inclui: a sua descrição, as principais etapas do seu desenvolvimento e uma síntese descritiva dos monitoramentos por telemetria, cujos dados foram recebidos e decodificados em tempo real pelo Banco de Controle da PSM (BC-PSM). O sucesso da qualificação da PSM e o seu desempenho do voo, em conformidade com os requisitos de projeto, demonstraram o cumprimento dos eventos de voo programados e, portanto, capacita tecnologicamente o Brasil para realizar experimentos em ambiente espacial suborbital de microgravidade com uma plataforma recuperável.*

I. INTRODUÇÃO

A pesquisa em ambiente de microgravidade é uma das aplicações espaciais que permite a realização de experimentos em condições únicas. A força gravitacional terrestre chega por vezes a mascarar ou impossibilitar a ocorrência de alguns fenômenos naturais mais tênues. Estudos sobre estes fenômenos apenas são possíveis de serem realizados em um ambiente onde se promova valores reduzidos de aceleração. Os resultados têm potencial para avanços que podem não apenas melhorar a vida na Terra, mas também permitir a continuidade da exploração espacial e avanços em muitas áreas diferentes, tais como Física, Biologia, Atmosfera Superior, Fármacos, Medicina e Materiais.

O Programa Microgravidade da Agência Espacial Brasileira (AEB), criado em 27 de outubro de 1998 tem por objetivo "colocar ambientes de microgravidade à disposição da comunidade técnico-científica brasileira, prover os meios de acesso e suporte técnico para a viabilização de experimentos nesses ambientes" [1]. O Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) utiliza cargas úteis suborbitais europeias do tipo TEXUS para atender ao Programa Microgravidade da AEB e à comunidade científica nacional. Os programas de microgravidade europeus, implementados pela *European Space Agency* (ESA) utilizam o Veículo Suborbital *Booster* VSB-30 com a plataforma europeia TEXUS [10].

Dada a necessidade de disponibilização, revitalização e de reposição de plataformas, surgiu a oportunidade para a indústria nacional, prestar serviços especializados de engenharia para o desenvolvimento de uma Plataforma Suborbital de Microgravidade (PSM), com o objetivo de atender ao Programa Microgravidade da AEB.

Sendo assim, este artigo apresenta a qualificação em voo da Plataforma Suborbital de Microgravidade (PSM), que é a primeira carga útil suborital brasileira desenvolvida por meio de uma parceria entre a Agência Espacial Brasileira (AEB), a empresa Orbital Engenharia, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), para proporcionar a realização de experimentos científicos e/ou tecnológicos, com duração de 6 a 8 minutos em ambiente de microgravidade (2.10^{-4}g), através de voo balístico suborbital e ter os seus experimentos recuperados no mar.

Este artigo está organizado da seguinte forma. A seção I apresenta a Introdução. A seção II apresenta a descrição da Plataforma Suborbital de Microgravidade (PSM). A seção III sumariza as fases do desenvolvimento da PSM. A seção IV apresenta uma síntese da qualificação em voo da PSM. A seção V apresenta a conclusão sobre a qualificação em voo da PSM.

II. A PLATAFORMA SUBORBITAL DE MICROGRAVIDADE (PSM)

A missão da PSM é prover meios para a realização de experimentos em ambiente de microgravidade através de um Sistema de Serviços e de Módulos para Experimentos embarcados. A PSM provê aos experimentos interfaces de telecomunicação e energia. Os seus módulos de experimentos servem como meio para integração física dos experimentos e como proteção contra os ambientes de voo e, também, provê meios para permitir a recuperação dos experimentos no mar [9].

Os principais objetivos da missão da PSM são:

a) reduzir drasticamente a velocidade angular longitudinal induzida pelo Veículo Suborbital e realizar a sua separação;

b) reduzir as velocidades angulares nos três eixos de rotação da PSM, de modo que a aceleração resultante seja menor que 2.10^{-4}g;

c) gerar um ambiente de microgravidade por período compatível com o veículo suborbital a ser utilizado;

d) prover módulos de experimentação garantindo um ambiente seguro para a integridade dos experimentos;

e) fornecer energia elétrica para os equipamentos de serviço e de modo complementar para os experimentos;

f) adquirir e transmitir em tempo real para o solo dados de serviço e dos experimentos durante o voo;

g) prover a recuperação segura da PSM e dos experimentos;

h) ser compatível com os meios de solo já disponíveis no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), Centro de Lançamento da Barreira do Inferno (CLBI), Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) e no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Para cumprir sua missão, após o lançamento, a PSM executa uma sequência de fases e eventos ilustrada na Figura 1 [9].

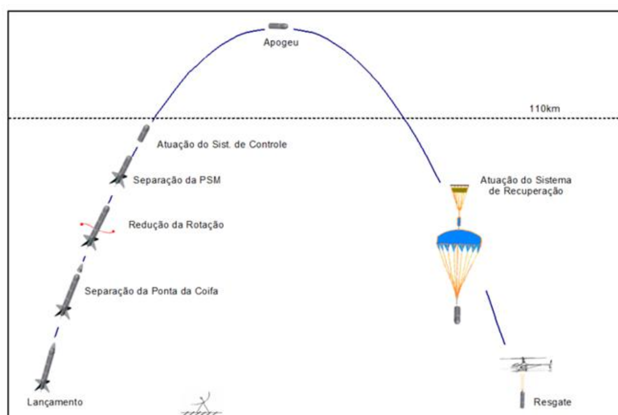


Fig. 1. Fases e eventos do voo da PSM.

O voo da PSM começa com o lançamento (ignição do motor) do veículo suborbital, durante o qual o conjunto (PSM e veículo) adquire rotação em rolamento, proporcionando estabilização dinâmica ao voo. Após alguns segundos do fim da fase propulsada do veículo, a ponta da coifa é ejetada, o dispositivo para redução da rotação do conjunto (ioiô) é ativado, a separação da PSM do veículo suborbital é realizada, e ela prossegue, por inércia até o apogeu. Subsequentemente, após a separação da PSM, as velocidades angulares são reduzidas estabelecendo o ambiente de microgravidade. Após a fase de microgravidade, a PSM muda a sua atitude de voo para aumentar o arrasto aerodinâmico visando reduzir a velocidade vertical de queda (modo denominado “flat spin”). Após a reentrada, um pequeno pára-quedas (pára-quedas de arrasto) é acionado e, na sequência, ocorre a abertura do pára-quedas principal, para reduzir ainda mais a velocidade da PSM, permitindo sua amerissagem. O resgate é auxiliado por um sistema de localização, sinalização luminosa, marcador de água e boia para flutuação da PSM. Durante o voo da PSM, os dados de serviço e dos experimentos são enviados por telemetria para as estações de solo, exceto durante a fase de recuperação.

A configuração mecânica da PSM é ilustrada na Figura 2. A quantidade de módulos de experimentos e anéis de interface podem variar de acordo com a missão.



Fig. 2. Configuração mecânica da PSM.

A PSM é constituída dos seguintes subsistemas [6]:

a) Subsistema Estrutura: fornece suporte mecânico a todos os subsistemas da PSM, equipamentos e acessórios, bem como para os módulos de experimentos, suportando os ambientes de pré-lançamento (terra), lançamento, voo e resgate;

b) Subsistema Serviço: armazena energia elétrica em baterias e a distribui aos vários equipamentos e experimentos utilizando um barramento não

regulado; também gera os comandos para atuação do ioiô e separação entre a PSM e o veículo suborbital;

c) Subsistema Separação: realiza a redução inicial de rolamento através do ioiô e separa a PSM do veículo suborbital após a fase propulsada;

d) Controle e Gerenciamento de Bordo: realiza o controle das velocidades angulares nos três eixos, após a separação entre a PSM e o veículo, com a precisão aqui especificada, a fim de obter o ambiente de microgravidade; adquire e "empacota" os dados de serviço e experimentos e distribui comandos aos experimentos;

e) Subsistema Telemedidas e Telecomando (TM/TC): fornece comunicação entre a PSM e as estações de TM/TC em terra a fim de garantir a capacidade de transmitir os sinais de telemedidas e vídeo e receber telecomandos (liga/desliga) para os experimentos de microgravidade durante as fases em voo da missão;

f) Subsistema Recuperação: realiza a ejeção da ponta da coifa e reduz a velocidade de descida da plataforma para amerissagem segura e sinalização visual e eletrônica para a localização e resgate da PSM.

III. AS FASES DO DESENVOLVIMENTO DA PSM

Na abordagem da Engenharia de Sistemas, utiliza-se um processo para missões aplicadas ao setor espacial com a finalidade de assegurar que todas as necessidades (objetivos e vínculos desejados) do cliente/usuário (*stakeholder*) os quais, por sua vez, são transformados em requisitos e, posteriormente, em especificações de missão e de sistema, serão satisfeitas durante a totalidade do ciclo de vida do sistema (solução). A solução do sistema inclui não apenas o produto, mas também os seus processos de ciclo de vida e algumas de suas organizações que os desempenham.

O ciclo de vida do sistema/projeto é um dos conceitos fundamentais utilizados no setor espacial para o gerenciamento de sistemas, que consiste em uma categorização de tudo o que deve ser feito para cumprir um programa ou projeto em fases distintas, separadas por eventos que são revisões de tomada de decisão, ou seja, a autoridade determina se um programa/projeto está pronto para avançar para a próxima fase do ciclo de vida.

O ciclo de vida dos projetos realizados no Programa Espacial Brasileiro, normalmente segue o padrão das normas *European Cooperation for Space Standardization* (ECSS), conforme a definição de fases a seguir [3]:

- Fase 0 – Análise de Missão;
- Fase A – Viabilidade;
- Fase B – Definição Preliminar (Projeto Preliminar);
- Fase C – Definição Detalhada (Projeto Detalhado);
- Fase D – Qualificação e Produção;
- Fase E – Operações/Utilização;
- Fase F – Descarte.

A Plataforma Suborbital de Microgravidade foi desenvolvida utilizando essa abordagem de Engenharia de Sistemas; e conforme o padrão das normas ECSS, onde aplicáveis e de forma adaptada [7]. Ao longo desse processo, foram desenvolvidos um Modelo de Engenharia e um Modelo de Qualificação que foi utilizado para a qualificação em voo.

IV. A QUALIFICAÇÃO EM VOO DA PSM

A qualificação em voo da carga útil Plataforma Suborbital de Microgravidade (PSM), denominada Operação Santa Branca, foi realizada no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) no Brasil, pela Força Aérea Brasileira (FAB) no dia 23 de outubro de 2022.



Fig. 3: Lançamento do VSB-30 levando a PSM a bordo, pela Operação Santa Branca [2].

O lançamento do Veículo Suborbital (VSB-30) ocorreu às 14h20 e atingiu o apogeu com 4 minutos e 1 segundo, já com altitude de 227 km, totalizando um voo de 7 minutos e 44 segundos. O ponto de impacto ocorreu a 185 km da costa e os experimentos foram resgatados no mar. A Figura 3 mostra o lançamento do VSB-30 levando a PSM.

Na PSM foi embarcado um conjunto de instrumentos para a avaliação do desempenho do voo e o experimento Forno Multiusuários, desenvolvido pelo Instituto Nacional

de Pesquisas Espaciais (INPE), que realiza a fusão de metais (Solidificação de Ligas Eutéticas de BiSn e PbSn) e, em seguida, solidifica a amostra durante o período em que a PSM atinge as condições de microgravidade.

4.1 Sequenciamento de Eventos do Voo da PSM

O sequenciamento de eventos do voo da PSM inicia-se com a ignição do Primeiro Estágio (T0) para o lançamento, quando ocorre a desconexão dos conectores umbilicais com os equipamentos de solo. A partir deste instante, é iniciada a contagem do tempo de bordo, incrementado a partir do T0. Consequentemente, a seguinte sequência de eventos pré-programada passa a ser realizada através comandos gerados pelo computador de bordo da PSM:

a) T0: Lançamento/ Início do Estado Propulsado;
b) T0+15s: Ignição do Segundo Estágio;
c) T0+50s: Chaveamento da Antena do GPS;
d) T0+55s: Separação da Coifa;
e) T0+56s: Acionamento do Ioiô;
f) T0+59s: Separação da PSM;
g) T0+60s: Término do Estado Propulsada;
h) >T0+60s: Atuação do Sistema de Controle/ Início do Estado de Redução de Velocidade Angular;
i) >T0+60s: Início da Microgravidade;
j) T0+63: Chaveamento da Câmera 2;
k) T0+73: Chaveamento da Câmera 3;
l) T0+73: Chaveamento da Câmera 1;
m) T0+300 Chaveamento da Câmera 3;
n) >T0+300: Término da Microgravidade / Início do Flat Spin;
o) >T0+310: Início do Estado Recuperação.

Os gráficos dos registros do sequenciamento de voo foram gerados a partir dos dados de telemetria recebidos em solo, e constam na seguinte base de tempo de T0-60s até T0+480s. Vale ressaltar que os gráficos foram seccionados em etapas: a secção em vermelho representa a fase propulsada do voo (T0 à T0+60s) seção em verde representa o intervalo de microgravidade (T0+68s à T0+431s) e a linha vertical tracejada em azul representa a perda de sinal (T0+465s).

A Figura 4 apresenta o registro de telemetria recebida em solo com os dados do estado corrente da PSM. A partir deste gráfico, é possível observar que a PSM realizou a correta transição de estados, passando por todos os estados previstos de ocorrerem em voo: 1-Preparação, 2-Pronto, 3-Propulsada, 4-Redução de Velocidade Angular, 5-Microgravidade, 6-Flat-Spin e 7-Recuperação. Deste modo, é observado que os eventos "a)", "g)", "h)", "i)", "n)" e "o)" ocorreram conforme os intervalos de tempos definidos [4].

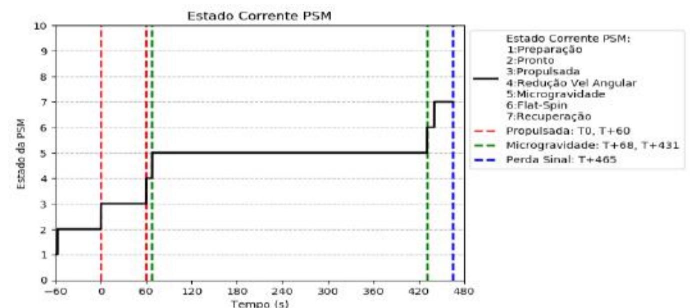


Fig. 4: Estado Corrente da PSM durante Pré-lançamento e Voo.

4.2 Ambiente de Microgravidade

O registro de telemetria recebida em solo com os dados da verificação do ambiente de microgravidade a partir dos dados dos girômetros e da monitoração do estado de microgravidade da PSM são mostrados nas Figuras 5 a 8 a seguir [4].

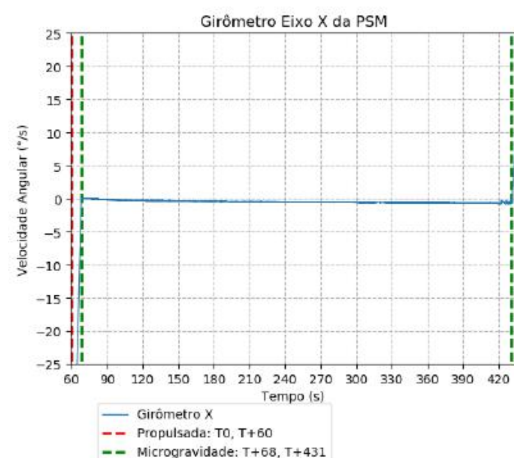


Fig. 5: Telemetria do Girômetro Eixo X da PSM.

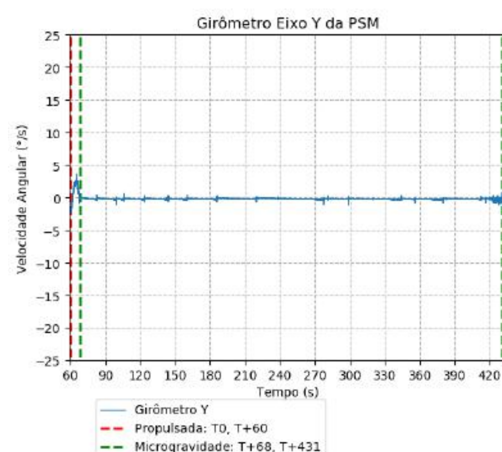


Fig.6: Telemetria do Girômetro Eixo Y da PSM.

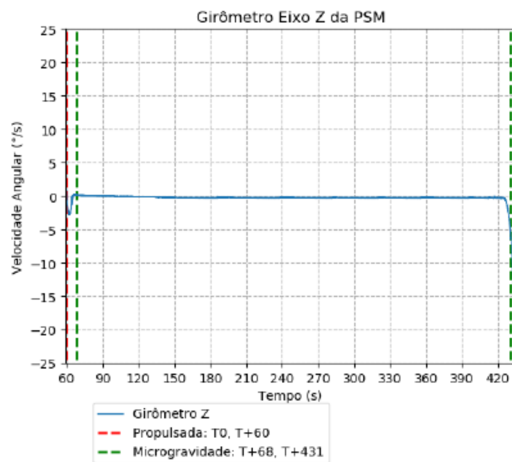


Fig.7: Telemetria do Girômetro Eixo Z da PSM.

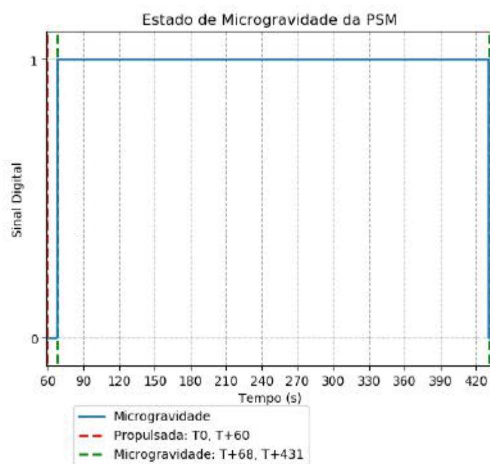


Fig.8: Telemetria do Estado de Microgravidade da PSM.

V. CONCLUSÃO

As seguintes funções e eventos programados da PSM foram verificados no voo de qualificação, inclusive:

a) Realizar o sequenciamento de eventos;
b) Transmitir para o solo, em tempo real, as telemetrias de bordo relativas à PSM e aos experimentos;
c) Controlar as velocidades angulares da PSM;
d) Atuação do sistema de controle, de modo a estabelecer um ambiente de microgravidade aos experimentos.

Portanto, desenvolver uma carga útil suborbital e lançá-la através de um veículo suborbital envolveu a coordenação e controle de complexas atividades relacionadas aos processos do ciclo de vida que contribuíram para o alcance dos critérios de sucesso. Esse conhecimento adquirido (*know-how*) e as tecnologias desenvolvidas serão utilizadas para atender às demandas governamentais do Programa Microgravidade e para atender às demandas privadas nacionais e internacionais de realização de experimentos científicos e tecnológicos em ambiente de microgravidade.

O sucesso da qualificação da PSM e o seu desempenho em voo, em conformidade com os requisitos de projeto [5], foi demonstrado pelo cumprimento das fases e eventos de voo programados [8] e, portanto, capacita tecnologicamente o Brasil para realizar experimentos em ambiente espacial suborbital de microgravidade utilizando uma plataforma recuperável.

A Operação Santa Branca evidenciou a autonomia tecnológica conquistada pelo Basil através do estabelecimento da capacidade interna de desenvolvimento de carga útil suborbital e do seu emprego em voo utilizando veículo suborbital e infraestrutura de solo totalmente nacionais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem enfaticamente à Agência Espacial Brasileira (AEB), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), ao Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), ao Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), à Orbital Engenharia, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelos seus apoios que, de algum modo, contribuiram para o sucesso do projeto da PSM.

REFERÊNCIAS

[1] Agência Espacial Brasileira. (2022). Programa Nacional de Atividades Espaciais: PNAE 2022-2031. *Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)*. 1-96.
[2] Céu Profundo. (2022). Operação Santa Branca - Sucesso no Lançamento de Foguete VSB-30 em Alcântara. Disponível em: http://ceuprofundo.com/2022/10/27/operacao-santa-branca/. Acesso em: 21 de dezembro de 2022.
[3] European Cooperation for Space Standardization (ECSS), (2009). ECSS-M-ST-10C Rev.1 – Space Project Management: Project Planning and Implementation. Requirements & Standards Division. Noordwijk, The Netherlands.
[4] Maiolino, J. V., Maiolino, G. M., Altafim, R. M. (2022) Relatório de Participação da Orbital Engenharia na Revisão Pós Voo da Operação Santa Branca. *Orbital Engenharia*, 1-23.
[5] Paschotto, M., Maiolino, J. V. (2022). Revisão do Atendimento à Especificação da Plataforma Suborbital de Microgravidade. *Orbital Engenharia*. 1-12.
[6] Vaz, C. C. (2014). Análise de Viabilidade Técnica e Industrial da Plataforma Suborbital de Microgravidade Modelo de Qualificação. *Orbital Engenharia*, 1-10.

[7] Vaz, C. C. (2014). Plano de Desenvolvimento e Verificação da Plataforma Suborbital de Microgravidade Modelo de Qualificação. Orbital Engenharia, 1-54.

[8] Vaz, C. C., Altafim, R. M., Maiolino, J. V. (2022). Relatórios de Descrição, Ensaios e de Análises Finalizados da Plataforma Suborbital de Microgravidade Modelo de Qualificação. *Orbital Engenharia*. 1-51.

[9] Zigiotto, A. C., Tavares, F. C. M. (2013). Especificação de Missão da Plataforma Suborbital de Microgravidade. *Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica, Instituto de Aeronáutica e Espaço, Divisão de Eletrônica*, 1-11.

[10] Zigiotto, A. C., Tavares, F. C. M. (2013). Especificação da Plataforma Suborbital de Microgravidade. *Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica, Instituto de Aeronáutica e Espaço, Divisão de Eletrônica*, 1-23.